

УДК 669.295

А. Е. КАПУСТЯН<sup>1</sup>, А. В. ОВЧИННИКОВ<sup>1</sup>, Т. А. КОВАЛЕНКО<sup>2</sup>, А. В. ШЕВЧЕНКО<sup>1</sup><sup>1</sup> Запорожский национальный технический университет, Запорожье, Украина<sup>2</sup> АО «Мотор Сич», Запорожье, Украина

## ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛУФАБРИКАТОВ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

*Проведен анализ производства полуфабрикатов и изделий из титана и его сплавов на Украине. Пруток из титана и его сплавов является одним из наиболее востребованных полуфабрикатов, которые в Украине практически не производятся. Для массового его производства необходимо снизить стоимость технологии их получения. Обоснован способ производства прутковых полуфабрикатов с использованием методов порошковой металлургии при использовании порошков с развитой поверхностью и сварки. Рассмотрены различные методы сварки, показаны перспективы применения методов сварки давлением. Для изготовления прутковых полуфабрикатов оптимальными являются методы сварки трением. Отмечена актуальность разработки технологии получения сварных соединений высоколегированных спеченных титановых сплавов.*

**Ключевые слова:** титан, порошковая металлургия, прессование, спекание, сварка, полуфабрикат, пруток, соединение

### Введение

Авиационно-космическая промышленность является одним из наиболее крупных потребителей титана и эта тенденция только усиливается. Мировое применение титана в авиационно-космической промышленности в 2006 году не превышало 40 % [1] в 2013 году составило 46 %. При этом в конструкциях авиакосмической и ракетной техники до 70 % деталей имеет сечение до 30 мм и до 25 % деталей сечение до 50 мм [2]. Прутковая заготовка является основным полуфабрикатом для изготовления заготовок для таких деталей роторного назначения как рабочие лопатки различных ступеней компрессора авиадвигателя [3] и крепежные детали (стяжки, болты, гайки) [4]. Для получения полуфабрикатов таких сечений из титановых сплавов, имеющих высокие значения прочности, необходимо проводить деформацию с высокими значениями удельного усилия осадки и при высоких температурах, что вызывает необходимость использования высокоэнергетического и дорогостоящего оборудования, а также приводит к потерям металла при удалении поверхностных слоев [5]. Это частично объясняет факт, что при концентрации в Украине около 20 % мировых ресурсов титановых месторождений, слабо развиты литейное и прокатное производства продуктов высокого передела (металлического титана и изделий из его сплавов).

Основные производители металлического титана в слитках в Украине – ООО „Запорожский ти-

таномagneиный комбинат”, ГП „Научно-производственный центр «Титан» ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ», ООО «Международная компания «АНТАРЕС», и ООО «Стратегия БМ» в заготовках сечением: круглые слитки от  $\varnothing$  200 до 1100 мм и слябы прямоугольного сечения от 150x500 мм до 400x1350 мм [6]. Основная часть ресурсов титана экспортируется в виде сырья [7], а отечественная промышленность в основном ориентирована на импорт, что ставит Украину в зависимость от внешних поставщиков полуфабрикатов и готовой продукции из титана и его сплавов [6]. В других странах наблюдается тенденция к концентрации производства и потребления титана внутри страны [8].

### 1. Анализ актуальности проблемы и постановка задач исследований

Производство изделий и полуфабрикатов, кроме стоимости материала включает в себя, стоимость технологии их получения и стоимость последующих обработок: деформационной, термической, механической [9]. Высокая стоимость титановых прутков обусловлена сложной технологией их получения [10]. Таким образом, поиск путей снижения цены необходим на всех этапах производства. Применение дешевого материала может снизить стоимость изделий до 20 % [11]. До 14 % себестоимости полуфабрикатов из титановых сплавов приходится на плавку и до 52 % приходится на получение проката [12], т.е. на технологии получения может прихо-

даться более 65 % себестоимости полуфабрикатов. Поэтому, основным путем снижения стоимости полуфабрикатов из титановых сплавов является удешевление технологий их получения [13], без снижения качества полуфабрикатов и в минимальные сроки [14].

Наиболее перспективными технологиями переработки титанового сырья являются порошковые технологии [15-17]. Это объясняется сокращением необходимых операций и применением высокопроизводительного оборудования [18]; при прессовании в необходимые формы детали изготавливаются быстрее, с меньшими обработкой и отходами [19], получение материалов с уникальными характеристиками [15, 20]. Снижение стоимости и повышение технологичности получения полуфабрикатов можно обеспечить путем использования гранульной металлургии [18, 21-23] или еще более экономичных методов порошковой металлургии (ПМ) при использовании порошков с развитой поверхностью [24-26]. Данные технологии успешно применяются для производства деталей в различных отраслях промышленности, в частности, авиадвигателестроение [27]. Метод ПМ позволяет использовать отходы титановых сплавов после соответствующей обработки в качестве исходного сырья [28], что еще снизит себестоимость. Однако, изготовление длинномерных полуфабрикатов при производстве методом ПМ весьма проблематично.

Одним из наиболее эффективных и распространенных способов соединения титановых сплавов является сварка [29]. Поэтому проблема получения прутков из спеченного титана может быть решена путем применения прогрессивных технологий сварочного производства [30]. Технологические возможности процесса сварки и уровень механических свойств сварных соединений оказывают большое влияние на объем промышленного применения титана. Правильный выбор способа сварки обуславливает качество и эффективность выполнения сварного соединения [31, 32]. Одним из основных требований к современным конструкционным титановым сплавам является обеспечение работоспособности сварных соединений на уровне основного металла (соотношения прочности шва к прочности основного металла не ниже 0,9 [31]).

Считается, что сварка плавлением даже при дополнительном воздействии не способна обеспечить коэффициент прочности сварного соединения более 0,9 [33]. Бывают и исключения, например, коэффициент прочности при аргонодуговой сварке опытного сплава Т-110 может составлять 0,93-0,97 [29], а при аргонодуговой сварке некоторых псевдо- $\alpha$ -сплавов может быть на уровне основного металла за счет контактного упрочнения и при сварке в ще-

левые и традиционные разделки с усилением [34, 35]. Для остальных, особенно  $\alpha+\beta$ -сплавов, прочность сварных соединений выполненных сваркой плавлением ниже основного металла, что связано со структурными изменениями. Эти сплавы обладают, как правило, ограниченной свариваемостью, требуют применения предварительного подогрева и последующей термической обработки для стабилизации структуры и свойств сварного соединения. Равнопрочность при сварке плавлением обеспечивается концентрированными источниками нагрева: ЭЛС [35-37], лазерной [38, 39] и плазменной сваркой [39]. Однако, эти способы имеют ряд технологических, экономических и недостатков присущих всем методам сварки в жидкой фазе. Кроме общеизвестных недостатков, при использовании спеченных заготовок сварные соединения, выполненные сваркой плавлением, обладают повышенной пористостью в высокотемпературной области зоны термического влияния [40], а также имеют нестабильные механические свойства, т.к. концентрация и геометрия пор существенно влияет на свойства изделия, являясь концентратором напряжений и определяя характер разрушения [41, 42].

Методы сварки без расплавления или с минимальным расплавлением позволяют минимизировать указанное влияние и сохранить физико-химические свойства металла шва близкие к основному металлу [43]. В частности сварка трением позволяет получать качественные сварные соединения из титановых сплавов, механические свойства которых находятся на уровне основного металла [33, 44, 45]. Эта технология значительно упрощает подготовку под сварку титана и его сплавов по сравнению со сваркой плавлением, снижает влияние подготовки кромки деталей под сварку, исключает возможное негативное влияние присадочной проволоки на качество сварного соединения [32, 46, 47]; при этом допускается отсутствие газовой защиты сварного соединения и детали [48], также нивелируются проблемы значительной усадки и возможности зарождения и распространения трещин в зоне термического влияния спеченного материала, подвергнутого сварке плавлением [48].

Актуальность работ в данном направлении predetermined национальными и мировыми стратегиями и тенденциями развития авиационной, космической и других отраслей активно потребляющих продукцию из титана и его сплавов [49].

На сегодняшний день ведется комплекс работ в данном направлении НИЦ «Титан Запорожья», Запорожский национальный технический университет, АО «Мотор Сич», ГП «Государственный научно-исследовательский и проектный институт титана»:

– обработка технологий изготовления порош-

ков титана различного химического состава;

- отработка технологий получения гидрида титана из титановых порошков;
- отработка технологий изготовления из порошков титана спеченных изделий для использования в различных отраслях промышленности;
- отработка технологий синтеза из спеченных заготовок длинномерных полуфабрикатов и изделий сложной формы.

В настоящее время получены качественные прутковые спеченные и сваренные заготовки из не легированного титана [50-52], что доказывает перспективность метода.

Планируется применение данной технологии в авиационной промышленности, где при сварке легированного титана имеется ряд проблем, связанных с очень высокой чувствительностью механических свойств к структурному состоянию материала [45, 53]. Особенно это касается соединения титановых сплавов с пластинчатой структурой [54]. Рассматривая данные результаты в контексте материалов, применяемых в авиационной технике, необходимо проведение работ по отработке технологий под каждый химический состав. Особенно это важно для жаропрочных сплавов на основе титана, содержащих тугоплавкие элементы.

Таким образом, анализ работ в данном направлении показывает возможность решения ряда технологических и научных задач. При этом серийное производство полуфабрикатов, должно учитывать конкретные производственные мощности, габариты изделий и их назначение.

## Выводы

1. Анализ состояния производства прутковых полуфабрикатов из титана и его сплавов, наиболее используемых сечений и изделий них на Украине показал зависимость страны от внешних поставщиков. Показано, что решение этих проблем находится в плоскости новых технологических решений:

- использование в качестве исходного сырья материалов производимых на территории Украины;
- отработка энергосберегающих технологий и процессов изготовления, соединения и деформационной обработок.

2. Обоснован эффективный способ снижения стоимости прутковых полуфабрикатов из титановых сплавов путем создания интегрированных технологий их получения. Отмечена актуальность создания технологии прутков из титана на Украине с использованием методов порошковой металлургии и сварки для дальнейшего развития титановой промышленности Украины.

3. Применение интегрированных технологий

позволяет решать многие технологические проблемы, стоящие в области применения титана:

- получение полуфабрикатов с формой максимально близкой к конечному изделию;
- создание технологических процессов, обеспечивающих производство деталей с высоким уровнем механических свойств с меньшими затратами.

4. В настоящее время ведется отработка различных технологий позволяющих получать прутковые полуфабрикаты из порошка титана и его сплавов.

5. Определена необходимость дальнейших исследований по определению свариваемости высоколегированных спеченных титановых сплавов для внедрения рассмотренных технологий и материалов в авиационную и космическую промышленности.

## Литература

1. Теслевич, С. М. Основные направления в стратегии развития исследовательских работ по усовершенствованию технологии производства титановых полуфабрикатов и изделий на КПП «ЗТМК» [Текст] / С. М. Теслевич, Л. Я. Шварцман, Н. Н. Жигунов // *Ti-2007 в СНГ : сб. тр. Междунар. конф., Ялта, 15-18 апр. 2007 г. – К., 2007. – С. 25-33.*
2. Хорев, А. И. Фундаментальные и прикладные работы по термической и термомеханической обработке титановых сплавов для авиационной и ракетно-космической техники [Текст] / А. И. Хорев // *Ti-2011 в СНГ : сб. тр. Междунар. конф., Львов, 25-28 апр. 2011 г. – К., 2011. – С. 314-321.*
3. Формирование структуры в процессе изотермического штамповки лопаточных заготовок из ( $\alpha+\beta$ ) жаропрочных титановых сплавов [Текст] / Н. А. Ночовная, А. Ю. Изотова, Н. В. Моисеев [и др.] // *Ti-2011 в СНГ : сб. тр. Междунар. конф., Львов, 25-28 апр. 2011 г. – К., 2011. – С. 38-40.*
4. Иванова, Л. А. Опыт применения высокопрочных титановых сплавов в энергетическом оборудовании [Текст] / Л. А. Иванова, А. С. Кудрявцев, В. В. Травин // *Ti-2009 в СНГ : сб. тр. Междунар. конф., Одесса, 17-20 мая 2009 г. – К., 2009. – С. 46-60.*
5. Деформируемость титановых сплавов при нормальной и повышенных температурах [Текст] / С. В. Скворцова, Д. А. Дзунович, А. В. Шалин [и др.] // *Ti-2011 в СНГ : сб. тр. Междунар. конф., Львов, 25-28 апр. 2011 г. – К., 2011. – С. 361-363.*
6. Галецкий, Л. С. Роль минерально-ресурсной базы титана Украины в мире [Текст] / Л. С. Галецкий, Е. А. Ремезова // *Ti-2011 в СНГ : сб. тр. Междунар. конф., Львов, 25-28 апр. 2011 г. – К., 2011. – С. 22-27.*
7. Новый этап в развитии минерально-сырьевой базы и титановой промышленности Украины [Текст] / Л. С. Галецкий, Е. А. Ремезова, Э. Ш. Когон [и др.] // *Ti-2013 в СНГ : сб. тр. Междунар. конф., Донецк, 26-29 мая 2013 г. – К., 2013. – С. 7-11.*

8. Иващенко, В. И. Направления снижения себестоимости титана [Текст] / В. И. Иващенко, И. Ф. Червонный // *Ti-2009 в СНГ : сб. тр. Междунар. конф., Одесса, 17-20 мая 2009 г.* – К., 2009. – С. 87-91.

9. Перспективы и возможности создания экономнолегированных бета-титановых сплавов [Текст] / А. А. Ширяев, Н. А. Ночовная, А. А. Бурханова [и др.] // *Металургия : зб. наук. пр.* – Вып. 2(30). – 2013. – С. 92-99.

10. Коваленко, Т. А. Влияние исходной структуры на механизмы разрушения и механические свойства субмикроструктурного титана [Текст] / Т. А. Коваленко, А. В. Овчинников // *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні.* – 2010. – № 1. – С. 72-80.

11. Вторичное титановое сырье: эффективность использования и рафинирование [Текст] / Г. А. Колобов, К. А. Печерица, В. В. Павлов [и др.] // *Ti-2013 в СНГ : сб. тр. Междунар. конф., Донецк, 26-29 мая 2013 г.* – К., 2013. – С. 119-121.

12. Анализ тенденций развития технологий, производства и потребления титана [Текст] / В. В. Тэлин, В. И. Иващенко, И. Ф. Червонный [и др.] // *Титан.* – 2005. – № 2(17). – С. 62-68.

13. Использование полых слитков из сплава VT1-0, Полученных методом ЭЛП, для изготовления горячепрессованных труб [Текст] / О. Е. Собко-Нестерук, Н. Г. Третьяк, Н. В. Чайка [и др.] // *Ti-2011 в СНГ : сб. тр. Междунар. конф., Львов, 25-28 апр. 2011 г.* – К., 2011. – С. 57-62.

14. Состояние, проблемы и перспективы создания жаропрочных титановых сплавов для деталей компрессора [Текст] / В. Г. Анташев, О. С. Кашапов, Т. В. Павлова [и др.] // *Ti-2007 в СНГ : сб. тр. Междунар. конф., Ялта, 15-18 апр. 2007 г.* – К., 2007. – С. 22-24.

15. Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевой базы титана Украины [Текст] / Л. С. Галецкий, Е. А. Ремезова, Э. Ш. Когон [и др.] // *Ti-2007 в СНГ : сб. тр. Междунар. конф., Ялта, 15-18 апр. 2007 г.* – К., 2007. – С. 34-38.

16. Аprobация порошков гидрированного титана производства КП «ЗТМК» в технологических процессах порошковой металлургии [Текст] / О. М. Ивасишин, Д. Г. Саввакин, М. В. Матвийчук [и др.] // *Ti-2007 в СНГ : сб. тр. Междунар. конф., Ялта, 15-18 апр. 2007 г.* – К., 2007. – С. 73-77.

17. Зяхор, И. В. Сварка трением жаропрочной стали, полученной технологией литья порошков под давлением, со сталью 40Х [Текст] / И. В. Зяхор, С. И. Кучук-Яценко // *Автоматическая сварка.* – 2012. – № 9. – С. 5-14.

18. Тэлин, В. В. Разработка новых экономических процессов и оборудования на КП «ЗТМК» в технологических процессах порошковой металлургии [Текст] / В. В. Тэлин, С. М. Теслевич, Л. Я. Шварцман // *Ti-2007 в СНГ : сб. тр. Междунар. конф., Ялта, 15-18 апр. 2007 г.* – К., 2007. – С. 60-64.

19. Selcuk, C. Joining processes for powder metal-

lurgy parts [Text] : a review / C. Selcuk, S. Bond, P. Woollin // *Powder Metallurgy.* – 2010. – no. 53(1). – P. 7-11.

20. Опыт получения порошков титана, порошковых титановых изделий и материалов [Текст] / В. А. Дрозденко, В. А. Павлов, Э. Д. Тер-Погосьянц [и др.] // *Ti-2007 в СНГ : сб. тр. Междунар. конф., Ялта, 15-18 апр. 2007 г.* – К., 2007. – С. 149-155.

21. Терновой, Ю. Ф. Полуфабрикаты и изделия из распыленных металлических порошков [Текст] : монография / Ю. Ф. Терновой, Н. Н. Пашетнева, С. А. Годенников. – Запорожье : Изд-во Запорожской государственной инженерной академии, 2010. – 184 с.

22. Москвичев, Ю. П. Гранульные композиты и эффективность их применения [Текст] / Ю. П. Москвичев, В. И. Панин, С. В. Агеев // *Ti-2013 в СНГ : сб. тр. Междунар. конф., Донецк, 26-29 мая 2013 г.* – К., 2013. – С. 41-47.

23. Влияние термоводородной обработки на формирование структуры порошковых материалов из титановых сплавов [Текст] / В. С. Спектор, Ю. Э. Рунова, Г. Т. Занетдинова [и др.] // *Ti-2013 в СНГ : сб. тр. Междунар. конф., Донецк, 26-29 мая 2013 г.* – К., 2013. – С. 345-347.

24. Влияние водорода и легирующих элементов на особенности синтеза титановых сплавов с использованием гидрированного титана [Текст] / О. М. Ивасишин, Д. Г. Саввакин, Н. М. Гуменяк [и др.] // *Ti-2011 в СНГ : сб. тр. Междунар. конф., Львов, 25-28 апр. 2011 г.* – К., 2011. – С. 322-328.

25. Применение гидрированного титана с заданным содержанием кислорода для получения изделий методом порошковой металлургии [Текст] / И. О. Быков, А. В. Овчинников, С. И. Давыдов [и др.] // *Теория и практика металлургии.* – 2011. – № 1-2(80-81). – С. 65 – 69.

26. Влияние структуры конструкционных титановых сплавов на изменение деформационного упрочнения в области локальной пластической деформации [Текст] / О. М. Ивасишин, П. Е. Маарковский, Д. Г. Саввакин [и др.] // *Ti-2013 в СНГ : сб. тр. Междунар. конф., Донецк, 26-29 мая 2013 г.* – К., 2013. – С. 287-296.

27. Яковлев, М. Г. Повышение производительности и качества обработки дисков ГТД из гранульных материалов за счет применения оптимальных режимов резания [Текст] / М. Г. Яковлев, М. В. Жулов // *Климовские чтения-2014: перспективы направления развития авиадвигателестроения: сб. докладов Междунар. научно-технической конф. В 2-х т. Т.1.* – СПб., 2014. – С. 281-291.

28. Отходы титановых сплавов как возможная сырьевая база порошковой металлургии титана [Текст] / Г. А. Колобов, Д. В. Прутков, А. И. Шербина [и др.] // *Ti-2011 в СНГ : сб. тр. Междунар. конф., Львов, 25-28 апр. 2011 г.* – К., 2011. – С. 68-70.

29. Сопротивление усталости сварных соединений опытного титанового сплава T-110 [Текст] /

С. Л. Антонюк, В. Н. Король, А. Г. Моляр [и др.] // Автоматическая сварка. – 2004. – № 2. – С. 28-32.

30. Hamill, J. Weld techniques give powder metal a different dimension [Text] / J. Hamill // Metal Powder Report. – 2007. – no. 62(5). – P. 22-31.

31. Хорев, А. И. Влияние комплексного легирования на механические свойства сварных соединений и основного металла ( $\alpha'' + \beta$ )- и  $\beta$ -титановых сплавов [Текст] / А. И. Хорев // Технология машиностроения. – 2007. – № 2. – С. 29-34.

32. Блащук, Б. Е. Сварка плавлением титана и его сплавов (обзор) [Текст] / Б. Е. Блащук, Г. М. Шеленков // Автоматическая сварка. – 2005. – № 2. – С. 38-46.

33. Влияние параметров режима сварки трением на структуру и механические свойства соединений титанового сплава VT3-1 [Текст] / А. Г. Селиверстов, Ю. М. Ткаченко, Р. А. Куликовский [и др.] // Автоматическая сварка. – 2013. – № 1. – С. 29-34.

34. Леонов, В. П. Влияние термических циклов различных методов сварки на структуру и коррозионно-механические свойства сварных соединений псевдо- $\alpha$ -сплавов титана [Текст] / В. П. Леонов, В. И. Михайлов, И. Ю. Сахаров // Ti-2011 в СНГ : сб. тр. Междунар. конф., Львов, 25-28 апр. 2011 г. – К., 2011. – С. 71-79.

35. Кузнецов, С. В. Сопротивление деформированию и разрушению зон сварных соединений титановых псевдо- $\alpha$ -сплавов в условиях повышенных температур [Текст] / С. В. Кузнецов, В. П. Леонов, В. И. Михайлов // Ti-2013 в СНГ : сб. тр. Междунар. конф., Донецк, 26-29 мая 2013 г. – К., 2013. – С. 180-188.

36. Электронно-лучевая сварка листового технического титана VT1-0, упрочненного азотом в процессе дугошлакового переплава, и свойства полученных соединений [Текст] / В. Я. Саенко, А. А. Полишко, В. А. Рябинин [и др.] // Автоматическая сварка. – 2014. – № 11. – С. 50-53.

37. Структура и свойства сварных соединений титановых сплавов, легированных кремнием [Текст] / Л. И. Маркашова, С. В. Ахонин, Г. М. Григоренко [и др.] // Автоматическая сварка. – 2012. – № 11. – С. 7-17.

38. Особенности лазерно-дуговой сварки титановых сплавов [Текст] / В. Д. Шелягин, В. Ю. Хаскин, С. В. Ахонин [и др.] // Автоматическая сварка. – 2012. – № 12. – С. 36-40.

39. Шабдинов, М. Л. Перспективные аспекты использования лазерной термической технологии для сварки и резки титановых сплавов [Текст] / М. Л. Шабдинов, Г. М. Измаилова, Э. Ш. Джемилев // Вісн. Хмельниц. нац. ун-ту. – Хмельницьк, 2011. – № 5. – С. 31-34.

40. Никитина, Е. В. Механизм образования пористости в зоне термического влияния при сварке плавлением гранулированного материала [Текст] / Е. В. Никитина // Сварочное производство. – 2006. – № 1. – С. 12-17.

41. Исследование структуры сварных соединений спеченных титановых сплавов [Текст] / А. А. Скребецов, А. В. Овчинников, А. Е. Капустян [и др.] // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. трудов. – Вып. 64, ч. 4, – Днепропетровск : ПГАСА, 2012. – С. 403-408.

42. Скребецов, А. А. Исследование механических свойств сварных соединений спеченных титановых сплавов [Текст] / А. А. Скребецов, А. В. Овчинников, А. Е. Капустян // Вісник СевНту. Сер. : Механіка, енергетика, екологія : зб. наук. праць. – Вип. 132. – Севастополь : Севнту, 2012. – С. 14-17.

43. Особенности формирования структурной и химической неоднородности в сварных соединениях экспериментальных титановых сплавов системы Ti-Si-X, выполненных пресовой сваркой [Текст] / Т. Г. Таранова, Г. М. Григоренко, С. В. Ахонин [и др.] // Ti-2013 в СНГ : сб. тр. Междунар. конф., Донецк, 26-29 мая 2013 г. – К., 2013. – С. 214-220.

44. Исследование механических свойств сварных соединений сплава VT3-1, выполненных сваркой трением [Текст] / А. Г. Селиверстов, И. А. Петрик, Ю. М. Ткаченко [и др.] // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2011. – № 4(26). – С. 41-44.

45. Петрик, И. А. Повышение свойств сварных соединений роторных деталей из титановых сплавов [Текст] / И. А. Петрик, А. Г. Селиверстов, А. В. Овчинников // Авиационно-космическая техника и технология. – 2014. – № 8(115). – С. 25-29.

46. Блащук, Б. Е. Титан : сплавы, сварка, применение [Текст] / Б. Е. Блащук // Автоматическая сварка. – 2004. – № 3. – С. 39-46.

47. Плотность металла швов на техническом титане VT1-0, выполненных различными способами сварки [Текст] / Т. В. Голуб, О. Н. Каишевская, В. Н. Замков [и др.] // Автоматическая сварка. – 1990. – № 11(452). – С. 31-33.

48. Sudnik, W. Arc Welding. Chapter 6. Weldability of Iron Based Powder Metal Alloys Using Pulsed GTAW Process [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.intechopen.com/books/arc-welding/weldability-of-iron-based-powder-metal-alloys-using-pulsed-gtaw-process>. – 28.04.2016. DOI : 10.5772/28994.

49. Информационно-прогнозные структуро-литологические цифровые модели титан-циркониевых россыпных месторождений [Текст] / Д. П. Хруцов, А. П. Лобасов, Е. А. Ремезова [и др.] // Ti-2013 в СНГ : сб. тр. Междунар. конф., Донецк, 26-29 мая 2013 г. – К., 2013. – С. 83-91.

50. Ресурсосберегающая технология получения длинномерных полуфабрикатов из титановых сплавов методом порошковой металлургии [Текст] / А. В. Овчинников, А. Е. Капустян, С. И. Давыдов [и др.] // Технологические системы. – 2013. – № 4(65). – С. 29-33.

51. Капустян, А. Е. Получение сварных изделий из спеченных титановых сплавов [Текст] / А. Е. Капустян, А. В. Овчинников, И. А. Вакуленко //

*Наука та прогрес транспорту* : Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – Вип. 3 (51). – 2014. – С. 84-91.

52. Капустян, А. Е. Получение длинномерных полуфабрикатов из спеченных титановых сплавов сваркой трением [Текст] / А. Е. Капустян // *Автоматическая сварка*. – 2015. – № 3-4. – С. 55-59.

53. Влияние типа структуры на комплекс механических свойств титанового сплава ВТ6 [Текст] / С. В. Скворцова, И. М. Куделина, Н. А. Мамонтова [и др.] // *Ti-2013 в СНГ : сб. тр. Междунар. конф., Донецк, 26-29 мая 2013 г.* – К., 2013. – С. 348-353.

54. Диффузионная сварка титана [Текст] / Э. С. Каракозов, Л. М. Орлова, В. В. Пешиков [и др.]. – М. : *Металлургия*, 1977. – 272 с.

## References

1. Teslevich, S. M., Shvartsman, L. Ya., Zhi-gunov, N. N. Osnovnye napravleniya v strategii razvitiya issledovatel'skikh rabot po usovershenstvovaniyu tekhnologii proizvodstva titanovykh polufabrikatov i izdelii na KP «ZTMK» [The main directions in the development strategy of research to improve the production of titanium semi-finished products and products in the KP "ZTMC" technology]. *Ti-2007 v SNG : sb. tr. Mezhdunar. konf., Yalta, 15-18 apr. 2007* [Ti-2007 in the CIS: Sat. tr. Intern. Conf., Yalta, 15-18 April. 2007]. Kiev, 2007, pp. 25-33.

2. Khorev, A. I. Fundamental'nye i prikladnye raboty po termicheskoi i termomekhanicheskoi obrabotke titanovykh splavov dlya aviatsionnoi i raketno-kosmicheskoi tekhniki [Basic and applied research on thermal and thermomechanical processing of titanium alloys for the aeronautical and space engineering]. *Ti-2011 v SNG : sb. tr. Mezhdunar. konf., L'vov, 25-28 apr. 2011* [Ti-2011 in the CIS: Sat. tr. Intern. Conf., Lviv, 25-28 April. 2011]. Kiev, 2011, pp. 314-321.

3. Nochovnaya, N. A., Izotova, A. Yu., Moiseev, N. V., Kashapov, O. S. Formirovanie struktury v protsesse izotermicheskoi shtampovki lopatochnykh zagotovok iz ( $\alpha + \beta$ ) zharoprochnykh titanovykh splavov [Forming structure during isothermal forging blade blanks ( $\alpha + \beta$ ) of heat-resistant titanium alloys]. *Ti-2011 v SNG : sb. tr. Mezhdunar. konf., L'vov, 25-28 apr. 2011* [Ti-2011 in the CIS: Sat. tr. Intern. Conf., Lviv, 25-28 April. 2011]. Kiev, 2011, pp. 38-40.

4. Ivanova, L. A., Kudryavtsev, A. S., Travin, V. V. Opyt primeniya vysokoprochnykh titanovykh splavov v energeticheskom oborudovanii [Experience of high-strength titanium alloys in the energy equipment]. *Ti-2009 v SNG : sb. tr. Mezhdunar. konf., Odessa, 17-20 maya 2009* [Ti-2009 in the CIS: Sat. tr. Intern. conf, Odessa, 17-20 May 2009]. Kiev, 2009, pp. 46-60.

5. Skvortsova, S. V., Dzunovich, D. A., Shalin, A. V., Potamoshnev, D. V., Mamontova, A. E. Deformiruemost' titanovykh splavov pri normal'noi i povyshennykh temperaturakh [Deformability of titanium

alloys at normal and elevated temperatures]. *Ti-2011 v SNG : sb. tr. Mezhdunar. konf., L'vov, 25-28 apr. 2011* [Ti-2011 in the CIS: Sat. tr. Intern. Conf., Lviv, 25-28 April. 2011]. Kiev, 2011, pp. 361-363.

6. Galetskii, L. S., Remezova, E. A. Rol' mineral'no-resursnoi bazy titana Ukrainy v mire [The role of the mineral resource base of titanium in Ukraine in the world]. *Ti-2011 v SNG : sb. tr. Mezhdunar. konf., L'vov, 25-28 apr. 2011* [Ti-2011 in the CIS: Sat. tr. Intern. Conf., Lviv, 25-28 April. 2011]. Kiev, 2011, pp. 22-27.

7. Galetskii, L. S., Remezova, E. A., Kogon, E. Sh., Chernienko, N. N. Novyi etap v razvitii mineral'no-syr'evoi bazy i titanovoi promyshlennosti Ukrainy [A new stage in the development of mineral resource base and titanium industry in Ukraine]. *Ti-2013 v SNG : sb. tr. Mezhdunar. konf., Donetsk, 26-29 maya 2013* [Ti-2013 in the CIS: Sat. tr. Intern. conf, Donetsk, May 26-29, 2013]. Kiev, 2013, pp. 7-11.

8. Ivashchenko, V. I., Chervonnyi, I. F. Napravleniya snizheniya sebestoimosti titana [Destinations reduce the cost of titanium]. *Ti-2009 v SNG : sb. tr. Mezhdunar. konf., Odessa, 17-20 maya 2009* [Ti-2009 in the CIS: Sat. tr. Intern. conf, Odessa, 17-20 May 2009]. Kiev, 2009, pp. 87-91.

9. Shiryaev, A. A., Nochovnaya, N. A., Burkhanova, A. A., Antashev, V. G. *Perspektivy i vozmozhnosti sozdaniya ekonomnolegirovannykh beta-titanovykh splavov* [Prospects and possibilities of creation of economically beta titanium alloys]. Moscow, *Metalurgiya Publ.*, 2013, vol. 2(30), pp. 92-99.

10. Kovalenko, T. A., Ovchinnikov, A. V. Vliyanie iskhodnoi struktury na mekhanizmy razrusheniya i mekhanicheskie svoystva submikrokristallicheskogo titana [Influence of the original structure on the mechanisms of destruction and mechanical properties of titanium submicrocrystalline]. *Zaporozh'e, Novi materiali i tekhnologii v metalurgii ta mashinobuduvanni*, 2010, no. 1, pp. 72-80.

11. Kolobov, G. A., Pecheritsa, K. A., Pavlov, V. V., Antonets, M. A., Kolobova, A. G. Vtorichnoe titanovoe syr'e: effektivnost' ispol'zovaniya i rafinirovanie [Re-titanium resources: efficiency and refinement]. *Ti-2013 v SNG : sb. tr. Mezhdunar. konf., Donetsk, 26-29 maya 2013* [Ti-2013 in the CIS: Sat. tr. Intern. conf, Donetsk, May 26-29, 2013]. Kiev, 2013, pp. 119-121.

12. Telin, V. V., Ivashchenko, V. I., Chervonnyi, I. F., Shvartsman, L. Ya., Ivashchenko, O. V., Shvets, E. A., Kokarev, V. A. Analiz tendentsii razvitiya tekhnologii, proizvodstva i potrebleniya titana [Analysis of trends in technology development, production and consumption of titanium]. Moscow, *Titan*, 2005, no. 2(17), pp. 62-68.

13. Sobko-Nesteruk, O. E., Tretyak, N. G., Chaika, N. V., Vasyura, V. N., Neporozhnyi, Yu. V., Vakhrusheva, V. S., Medvedev, M. I., Buryak, T. N. Ispol'zovanie polykh slitkov iz splava VT1-0, Poluchennykh metodom ELP, dlya i zgotovleniya goryachepressovannykh trub [Using hollow ingots from alloy VT1-0 obtained by EBL, for manufacture of hot

pipes]. *Ti-2011 v SNG : sb. tr. Mezhdunar. konf., L'vov, 25-28 apr. 2011* [Ti-2011 in the CIS: Sat. tr. Intern. Conf., Lviv, 25-28 April. 2011]. Kiev, 2011, pp. 57-62.

14. Antashev, V. G., Kashapov, O. S., Pavlova, T. V., Nochovnaya, N. A. Sostoyanie, problemy i perspektivy sozdaniya zharoprochnykh titanovykh splavov dlya detalei kompressora [Condition, problems and prospects of creation of heat-resistant titanium alloys for compressor parts]. *Ti-2007 v SNG : sb. tr. Mezhdunar. konf., Yalta, 15-18 apr. 2007* [Ti-2007 in the CIS: Sat. tr. Intern. Conf., Yalta, 15-18 April. 2007]. Kiev, 2007, pp. 22-24.

15. Galetskii, L. S., Remezova, E. A., Kogon, E. Sh., Chernienko, N. N. Problemy i perspektivy razvitiya mineral'no-syr'evoi bazy titana Ukrainy [Problems and prospects of development of the mineral resource base of titanium in Ukraine]. *Ti-2007 v SNG : sb. tr. Mezhdunar. konf., Yalta, 15-18 apr. 2007* [Ti-2007 in the CIS: Sat. tr. Intern. Conf., Yalta, 15-18 April. 2007]. Kiev, 2007, pp. 34-38.

16. Ivasishin, O. M., Savvakina, D. G., Matviichuk, M. V., Telin, V. V., Shvartsman, L. Ya., Davydov, S. I., Stavitskii, Yu. L. Aprobatsiya poroshkov gidrirovannogo titana proizvodstva KP «ZTMK» v tekhnologicheskikh protsessakh poroshkovo metallurgii [Testing of hydrogenated titanium powder production enterprise "ZTMC" in the processes of powder metallurgy]. *Ti-2007 v SNG : sb. tr. Mezhdunar. konf., Yalta, 15-18 apr. 2007* [Ti-2007 in the CIS: Sat. tr. Intern. Conf., Yalta, 15-18 April. 2007]. Kiev, 2007, pp. 73-77.

17. Zyakhor, I. V., Kuchuk-Yatsenko, S. I. Svarka treniem zharoprochnoi stali, poluchenoii tekhnologii lit'ya poroshkov pod davleniem, so stal'yu 40Kh [Friction welding heat-resistant steel, the resulting powder under pressure casting technology, with steel 40X]. Kiev, *Avtomaticheskaya svarka*, 2012, no. 9, pp. 5-14.

18. Telin, V. V., Teslevich, S. M., Shvartsman, L. Ya. Razrabotka novykh ekonomichnykh protsessov i oborudovaniya na KP «ZTMK» v tekhnologicheskikh protsessakh poroshkovo metallurgii [Development of new efficient processes and equipment in the manual "ZTMC" in the processes of powder metallurgy]. *Ti-2007 v SNG : sb. tr. Mezhdunar. konf., Yalta, 15-18 apr. 2007* [Ti-2007 in the CIS: Sat. tr. Intern. Conf., Yalta, 15-18 April. 2007]. Kiev, 2007, pp. 60-64.

19. Selcuk, C., Bond, S., Woollin, P. Joining processes for powder metallurgy parts : a review. *Powder Metallurgy*, 2010, no. 53(1), pp. 7-11.

20. Drozdenko, V. A., Pavlov, V. A., Ter-Pogos'yants, E. D., Lyashenko, A. P., Pavlov, V. V., Griga, Yu. L., Yatsenko, A. P., Shcherban', R. A. Opyt polucheniya poroshkov titana, poroshkovykh titanovykh izdelii i materialov [Experience of producing titanium powder, titanium powder products and materials]. *Ti-2007 v SNG : sb. tr. Mezhdunar. konf., Yalta, 15-18 apr. 2007* [Ti-2007 in the CIS: Sat. tr. Intern. Conf., Yalta, 15-18 April. 2007]. Kiev, 2007, pp. 149-155.

21. Ternovoi, Yu. F., Pashetneva, N. N., Vodenikov, S. A. *Polufabrikaty i izdeliya iz raspylennykh metallicheskih poroshkov* [Semi-finished products and

products made of fused metal powders] : monografiya. Zaporozhye, Izd-vo Zaporozhskoi gosudarstvennoi inzhenernoi akademii Publ., 2010. 184 p.

22. Moskvichev, Yu. P., Panin, V. I., Ageev, S. V. Granul'nye kompozity i effektivnost' ikh primeneniya [Granules composites and efficiency of their application]. *Ti-2013 v SNG : sb. tr. Mezhdunar. konf., Donetsk, 26-29 maya 2013* [Ti -2013 in the CIS: Sat. tr. Intern. conf, Donetsk, May 26-29, 2013]. Kiev, 2013, pp. 41-47.

23. Spektor, V. S., Runova, Yu. E., Zanetdinova, G. T., Grushin, I. A., Petrov, A. A. Vliyanie termovodorodnoi obrabotki na formirovanie struktury poroshkovykh materialov iz titanovykh splavov [Influence thermohydrogen treatment on the formation of the structure of powder materials of titanium alloys]. *Ti-2013 v SNG : sb. tr. Mezhdunar. konf., Donetsk, 26-29 maya 2013* [Ti -2013 in the CIS : Sat. tr. Intern. conf, Donetsk, May 26-29, 2013]. Kiev, 2013, pp. 345-347.

24. Ivasishin, O. M., Savvakina, D. G., Gumenyak, N. M., Matviichuk, M. V. Vliyanie vodoroda i legiruyushchikh elementov na osobennosti sinteza titanovykh splavov s ispol'zovaniem gidrirovannogo titana [Influence of hydrogen and alloying elements on the particular synthesis of titanium alloys using hydrogenated titanium]. *Ti-2011 v SNG : sb. tr. Mezhdunar. konf., L'vov, 25-28 apr. 2011* [Ti-2011 in the CIS : Sat. tr. Intern. Conf., Lviv, 25-28 April. 2011]. Kiev, 2011, pp. 322-328.

25. Bykov, I. O., Ovchinnikov, A. V., Davydov, S. I., Drozdenko, M. V., Lekhovitser, Z. V. Primenenie gidrirovannogo titana s zadannym sodержaniem kisloroda dlya polucheniya izdelii metodom poroshkovo metallurgii [Application hydrogenated titanium with a given oxygen content for powder metallurgy]. *Teoriya i praktika metallurgii*, 2011, no. 1-2 (80-81), pp. 65 – 69.

26. Ivasishin, O. M., Markovskii, P. E., Savvakina, D. G., Matviichuk, Yu. V., Kotrechko, S. A., Meshkov, Yu. Ya., Shiyani, A. V. Vliyanie struktury konstruktivnykh titanovykh splavov na izmenenie deformatsionnogo uprochneniya v oblasti lokal'noi plasticheskoi deformatsii [Influence of structural titanium alloy structure change of strain hardening in the local plastic deformation]. *Ti-2013 v SNG : sb. tr. Mezhdunar. konf., Donetsk, 26-29 maya 2013* [Ti -2013 in the CIS: Sat. tr. Intern. conf, Donetsk, May 26-29, 2013]. Kiev, 2013, pp. 287-296.

27. Yakovlev, M. G., Zhuplov, M. V. Povyshenie proizvoditel'nosti i kachestva obrabotki diskov GTD iz granul'nykh materialov za schet primeneniya optimal'nykh rezhimov rezaniya [Increase productivity and the quality of processing of GTE disks of granular materials by the use of the optimum cutting conditions]. *Klimovskie chteniya-2014 : perspektivy napravleniya razvitiya aviadvigatelestroeniya: sb. dokladov Mezhdunar. nauchno-tekhnicheskoi konf.* [Klimovsk read 2014 : prospects for development of aircraft engine : Sat. Reports Intern. scientific and technical conf.]. St. Petersburg, 2014, vol. 1, pp. 281-291.

28. Kolobov, G. A., Pruttskov, D. V., Sherbina, A. I., Pavlov, V. V., Drozdenko, A. V., Gomoni, V. I., Sekeresh, K. Yu., Drozdenko, M. V. Otkhody titanovykh splavov kak vozmozhnaya syr'evaya baza poroshkovoi metallurgii titana [Waste titanium alloys as a possible source of raw materials of titanium powder metallurgy]. *Ti-2011 v SNG : sb. tr. Mezhdunar. konf., Lvov, 25-28 apr. 2011* [Ti-2011 in the CIS : Sat. tr. Intern. Conf., Lviv, 25-28 April. 2011]. Kiev, 2011, pp. 68-70.
29. Antonyuk, S. L., Korol', V. N., Molyar, A. G., Zamkov, V. N., Topol'skii, V. F. Soprotivlenie ustalosti svarnykh soedinenii opytnogo titanovogo splava T-110 [Fatigue resistance of welded joints of the T-110 prototype titanium alloy]. *Avtomaticheskaya svarka*, 2004, no. 2, pp. 28-32.
30. Hamill, J. Weld techniques give powder metal a different dimension. *Metal Powder Report*, 2007, no. 62(5), pp. 22-31.
31. Khorev, A. I. *Vliyanie kompleksnogo legirovaniya na mekhanicheskie svoystva svarnykh soedinenii i osnovnogo metalla ( $\alpha + \beta$ )- i  $\beta$ -titanovykh splavov* [Influence of complex alloying on the mechanical properties of welded joints and base metal ( $\alpha + \beta$ ) - and  $\beta$ -titanium alloys]. Moscow, Tekhnologiya mashinostroeniya Publ., 2007, no. 2, pp. 29-34.
32. Blashchuk, B. E., Shelenkov, G. M. Svarka plavlenniem titana i ego splavov (obzor) [Fusion welding of titanium and its alloys (Review)]. *Avtomaticheskaya svarka*, 2005, no. 2, pp. 38-46.
33. Seliverstov, A. G., Tkachenko, Yu. M., Kulikovskii, R. A., Braginets, V. I., Zyakhor, I. V. Vliyanie parametrov rezhima svarki treniem na strukturu i mekhanicheskie svoystva soedinenii titanovogo splava VT3-1 [Influence of friction welding parameters on the structure and mechanical properties of the compounds of titanium alloy VT3-1]. *Avtomaticheskaya svarka*, 2013, no. 1, pp. 29-34.
34. Leonov, V. P., Mikhailov, V. I., Sakharov, I. Yu. Vliyanie termicheskikh tsiklov razlichnykh metodov svarki na strukturu i korrozionno-mekhanicheskie svoystva svarnykh soedinenii psevdoo-splavov titana [Effect of thermal cycles of different welding methods on the structure and corrosion-mechanical properties of welded joints of titanium pseudo-alpha-alloys]. *Ti-2011 v SNG : sb. tr. Mezhdunar. konf., Lvov, 25-28 apr. 2011* [Ti-2011 in the CIS : Sat. tr. Intern. Conf., Lviv, 25-28 April. 2011]. Kiev, 2011, pp. 71-79.
35. Kuznetsov, S. V., Leonov, V. P., Mikhailov, V. I. Soprotivlenie deformirovaniyu i razrusheniyu zon svarnykh soedinenii titanovykh psevdoo-splavov v usloviyakh povyshennykh temperatur [Resistance to deformation and fracture zones of welded joints of titanium pseudo-alpha-alloys at elevated temperatures]. *Ti-2013 v SNG : sb. tr. Mezhdunar. konf., Donetsk, 26-29 maya 2013* [Ti-2013 in the CIS : Sat. tr. Intern. conf. Donetsk, May 26-29, 2013]. Kiev, 2013, pp. 180-188.
36. Saenko, V. Ya., Polishko, A. A., Ryabinin, V. A., Stepanyuk, S. N. Elektronno-luchevaya svarka listovogo tekhnicheskogo titana VT1-0, uprochnennogo azotom v protsesse dugoshlakovogo pereplava, i svoystva poluchennykh soedinenii [Electron beam welding of titanium sheet technical VT1-0 reinforced with nitrogen during dugoshlakovogo refining and properties of the compounds]. *Avtomaticheskaya svarka*, 2014, no. 11, pp. 50-53.
37. Markashova, L. I., Akhonin, S. V., Grigorenko, G. M., Kruglenko, M. G., Kushnareva, O. S., Petrichenko, I. K. Struktura i svoystva svarnykh soedinenii titanovykh splavov, legirovannykh kremniem [Structure and properties of welded joints of titanium alloys, alloyed with silicon]. *Avtomaticheskaya svarka*, 2012, no. 11, pp. 7-17.
38. Shelyagin, V. D., Khaskin, V. Yu., Akhonin, S. V., Belous, V. Yu., Petrichenko, I. K., Siora, A. V., Palagesha, A. N., Seli, R. V. Osobennosti lazernodugovoi svarki titanovykh splavov [Features laser-arc welding of titanium alloys]. *Avtomaticheskaya svarka*, 2012, no. 12, pp. 36-40.
39. Shabdinov, M. L., Izmailova, G. M., Dzhemilov, E. Sh. Perspektivnye aspekty ispol'zovaniya lazernoi termicheskoi tekhnologii dlya svarki i rezki titanovykh splavov [Promising aspects of laser thermal technology for welding and cutting of titanium alloys]. *Visn. Khmel'nits. nats. un-tu. Khmel'nitsk*, 2011, vol. 5, pp. 31-34.
40. Nikitina, E. V. Mekhanizm obrazovaniya poristosti v zone termicheskogo vlianiya pri svarke plavlenniem granulirovannogo materiala [The mechanism of formation porosity in the HAZ during fusion welding granular material]. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2006, no. 1, pp. 12-17.
41. Skrebtsov, A. A., Ovchinnikov, A. V., Kapustyan, A. E., Bykov, I. O., Seliverstov, A. G. Issledovanie struktury svarnykh soedinenii spechennykh titanovykh splavov [Investigation of the structure of welded joints of sintered titanium alloys]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie : sb. nauch. trudov* [Construction, materials science, mechanical engineering : Proc. scientific. works], Dnepropetrovsk, PGASA Publ., 2012, vol. 64, no. 4, pp. 403-408.
42. Skrebtsov, A. A., Ovchinnikov, A. V., Kapustyan, A. E. Issledovanie mekhanicheskikh svoystv svarnykh soedinenii spechennykh titanovykh splavov [Investigation of mechanical properties of welded joints of sintered titanium alloys]. *Visnik SevNtu. Seriya: Mekhanika, energetika, ekologiya : zbirnik nauk. prats'*. Sevastopol : Sevntu, 2012, vol. 132, pp. 14-17.
43. Taranova, T. G., Grigorenko, G. M., Akhonin, S. V., Sabokar', V. K., Zadorozhnyuk, O. M., Solomiichuk, T. G., Polovetskii, E. V. Osobennosti formirovaniya strukturoi i khimicheskoi neodnorodnosti v svarnykh soedineniyakh eksperimental'nykh titanovykh splavov sistemy Ti-Si-X, vypolnennykh pressovoi svarkoi [Features of formation of structural and chemical heterogeneity in the welded joints of experimental titanium alloy Ti-Si-X system, made by welding press]. *Ti-2013 v SNG : sb. tr. Mezhdunar. konf., Donetsk, 26-29 maya 2013* [Ti-2013 in the CIS :

Sat. tr. Intern. conf, Donetsk, May 26-29, 2013]. Kiev, 2013, pp. 214-220.

44. Seliverstov, A. G., Petrik, I. A., Tkachenko, Yu. M., Kulikovskii, R. A., Ovchinnikov, A. V. Issledovanie mekhanicheskikh svoystv svarnykh soedinenii splava VT3-1, vypolnennykh svarkoi treniem [Study of the mechanical properties of welded alloy VT3-1 joints made by friction welding]. *Kompressornoe i energeticheskoe mashinostroenie*, 2011, no. 4 (26), pp. 41-44.

45. Petrik, I. A., Seliverstov, A. G., Ovchinnikov, A. V. Povyshenie svoystv svarnykh soedinenii rotornykh detalei iz titanovykh splavov [Increasing the properties of welded joints of rotary parts made of titanium alloys]. // *Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2014, no. 8(115), pp. 25-29.

46. Blashchuk, B. E. Titan : splavy, svarka, primeneniye [Titanium : alloys, welding, use]. *Avtomaticheskaya svarka*, 2004, no. 3, pp. 39-46.

47. Golub, T. V., Kashevskaya, O. N., Zamkov, V. N., Shevelev, A. D., Tyapko, I. K., Prilutskii, V. P., Slivinskii, V. A. Plotnost' metalla shvov na tekhnicheskoy titane VT1-0, vypolnennykh razlichnymi sposobami svarki [Metal density seams on the technical titanium VT1-0 made by various welding methods]. *Avtomaticheskaya svarka*, 1990, no. 11 (452), pp. 31-33.

48. Sudnik, W. *Arc Welding. Chapter 6. Weldability of Iron Based Powder Metal Alloys Using Pulsed GTAW Process*. [The global pharmaceutical industry]. Available at: <http://www.intechopen.com/books/arc-welding/weldability-of-iron-based-powder-metal-alloys-using-pulsed-gtaw-process> (accessed 28.04.2016). DOI : 10.5772/28994.

49. Khrushchov, D. P., Lobasov, A. P., Remezova, E. A., Svival'neva, T. V., Vasilenko, S. P. Informatsionno-prognoznye strukturo-litologicheskie tsifrovye modeli titan-tsirkonievyykh rossypnykh mestorozhdenii [Information-forward structures and lithological digital

models of titanium-zirconium placer deposits]. *Ti-2013 v SNG : sb. tr. Mezhdunar. konf., Donetsk, 26-29 maya 2013* [Ti -2013 in the CIS : Sat. tr. Intern. conf, Donetsk, May 26-29, 2013]. Kiev, 2013, pp. 83-91.

50. Ovchinnikov, A. V., Kapustyan, A. E., Davydov, S. I., Pavlov, V. V. Resursosberegayushchaya tekhnologiya polucheniya dlinnomernykh polufabrikatov iz titanovykh splavov metodom poroshkovoi metallurgii [Resource-saving technology for production of long semi-finished products from titanium alloys by powder metallurgy]. *Tekhnologicheskije sistemy*, 2013, no. 4(65), pp. 29-33.

51. Kapustyan, A. E., Ovchinnikov, A. V., Vakuhenko, I. A. Poluchenie svarnykh izdelii iz spechennykh titanovykh splavov [Production of welded products from sintered titanium alloys]. *Nauka ta progres transportu. Visnik Dnipropetrovs'kogo natsional'nogo universitetu zaliznichnogo transportu*, 2014, vol. 3 (51), pp. 84-91.

52. Kapustyan, A. E. Poluchenie dlinnomernykh polufabrikatov iz spechennykh titanovykh splavov svarkoi treniem [Preparation of long semi-finished products from titanium alloys sintered friction welding]. *Avtomaticheskaya svarka*, 2015, no. 3-4, pp. 55-59.

53. Skvortsova, S. V., Kudelina, I. M., Mamontova, N. A., Burenkov, O. A., Sharodi, M. A. Vliyanie tipa struktury na kompleks mekhanicheskikh svoystv titanovogo splava VT6 [Influence of the structure type of the complex mechanical properties of titanium alloy VT6]. *Ti-2013 v SNG : sb. tr. Mezhdunar. konf., Donetsk, 26-29 maya 2013* [Ti -2013 in the CIS : Sat. tr. Intern. conf, Donetsk, May 26-29, 2013]. Kiev, 2013, pp. 348-353.

54. Karakozov, E. S., Orlova, L. M., Peshkov, V. V., Grigor'evskii, V. I. *Diffuzionnaya svarka titana* [Diffusion welding of titanium]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1977. 272 p.

*Поступила в редакцию 1.06.2016, рассмотрена на редколлегии 15.06.2016*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой композиционные и порошковые материалы и технологии И. П. Волчок, Запорожский национальный технический университет, Запорожье, Украина.

## ОТРИМАННЯ НАПІВФАБРИКАТІВ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ ДЛЯ АВІАЦІЙНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

*О. Є. Капустян, О. В. Овчинников, Т. О. Коваленко, А. В. Шевченко*

Проведено аналіз виробництва напівфабрикатів і виробів з титану і його сплавів на Україні. Пруток з титану і його сплавів є одним з найбільш затребуваних напівфабрикатів, які в Україні практично не виробляються. Для масового його виробництва необхідно знизити вартість технології їх отримання. Обґрунтовано спосіб виробництва пруткових напівфабрикатів з використанням методів порошкової металургії при використанні порошків з розвиненою поверхнею і зварювання. Розглянуто різні методи зварювання, показані перспективи застосування методів зварювання тиском. Для виготовлення пруткових напівфабрикатів оптимальними є методи зварювання тертям. Відзначено актуальність розробки технології отримання зварних з'єднань високолегованих спечених титанових сплавів.

**Ключові слова:** титан, порошкова металургія, пресування, спікання, зварювання, напівфабрикат, пруток, з'єднання.

**RECEIVING SEMI TITANIUM ALLOYS FOR AEROSPACE*****O. Ye. Kapustian, O. V. Ovchynnykov, T. O. Kovalenko, A. V. Shevchenko***

Analysis of semi-finished products and manufacturing of titanium and its alloys in Ukraine. Rods of titanium and its alloys is one of the most popular convenience foods, which are almost not produced in Ukraine. For mass production it is necessary to reduce the cost of production technologies. Grounded bar-shaped semifinished production method using powder metallurgy techniques using the powder with a developed surface, and welding. Various methods of welding are shown perspectives of welding pressure. For the manufacture of semi-finished bar-shaped welding methods are optimal friction. The urgency of the development of the technology of the welded joints of high-sintered titanium alloys.

**Keywords:** titanium, powder metallurgy, pressing, sintering, welding, semi-finished, and bars, connection.

**Капустян Алексей Евгеньевич** – ст. преп. каф. оборудование и технологии сварочного производства, Запорожский национальный технический университет, Запорожье, Украина, e-mail: aek@zntu.edu.ua.

**Овчинников Александр Владимирович** – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой оборудование и технологии сварочного производства, директор НИЦ «Титан Запорожья», Запорожский национальный технический университет, Запорожье, Украина, e-mail: glotka87@ukr.net

**Коваленко Тамара Александровна** – канд. техн. наук, ведущий инженер-технолог АО «Мотор Сич», Запорожье, Украина, e-mail: tamara.kovalenko.84@mail.ru

**Шевченко Андрей Владимирович** – аспирант кафедры оборудование и технологии сварочного производства, Запорожский национальный технический университет, Запорожье, Украина.

**Kapustian Oleksii Yevhenovych** – Senior lecturer of Dept. of equipment and technology of welding production, Zaporozhye national technical university, Zaporozhye, Ukraine, e-mail: aek@zntu.edu.ua.

**Ovchynnykov Oleksandr Volodymyrovych** – Ph.D, Dr. of Technical Science, Professor, Head of Dept. of equipment and technology of welding production, Head of SIC "Zaporozhye Titanium" Zaporozhye national technical university, Zaporozhye, Ukraine, e-mail: glotka87@ukr.net.

**Kovalenko Tamara Oleksandrivna** – Candidate of Technical Science, advanced manufacturing engineer of joint stock company «Motor Sich», Zaporozhye, Ukraine, e-mail: tamara.kovalenko.84@mail.ru.

**Shevchenko Andrii Volodymyrovych** – graduate student of Dept. of equipment and technology of welding production, Zaporozhye national technical university, Zaporozhye, Ukraine.